



姜宇博,李爽,于洋,等.黑龙江省粮食生产技术效率研究[J].黑龙江农业科学,2022(4):85-89,99.

# 黑龙江省粮食生产技术效率研究

姜宇博<sup>1,2</sup>,李爽<sup>2</sup>,于洋<sup>1</sup>,宫秀杰<sup>1</sup>,郝玉波<sup>1</sup>,李梁<sup>1</sup>,吕国依<sup>1</sup>,钱春荣<sup>1</sup>

(1.黑龙江省农业科学院 耕作栽培研究所,黑龙江 哈尔滨 150028;2.东北农业大学 经济管理学院,黑龙江 哈尔滨 150030)

**摘要:**为明确黑龙江省粮食生产的技术效率水平及影响因素,本研究综合运用了数据包络分析方法和随机前沿分析方法,通过三阶段 DEA 分析模型,利用经济环境、自然环境和社会环境的相关变量对农业生产中的人力、机械、土地等投入变量进行了修正,对黑龙江省与我国其他地区粮食综合技术效率进行比较分析。结果表明:环境因素对各地区的农业生产投入起到了较为显著的影响,在剔除环境因素影响下,大部分地区的计算结果发生了变化。黑龙江省粮食生产综合技术效率虽然处于我国农业生产的前沿水平,但超效率分析结果表明黑龙江省粮食生产技术仍具备一定的提升空间。

**关键词:**粮食;黑龙江省;生产效率;三阶段 DEA 分析模型

粮食是国民经济健康发展与社会稳定的基础,由于我国耕地资源有限,单纯地依靠增加种植面积提升粮食产出已经无法满足现代农业的发展要求<sup>[1-2]</sup>。粮食生产技术效率水平不仅关系到粮食综合产能,还与现代农业生产的整体布局、粮食的国际竞争力、农民收入水平、农业环境污染等诸多热点问题息息相关<sup>[3-4]</sup>,对保障国家粮食安全具有重要意义。本文基于宏观视角考察黑龙江省粮食整体生产的技术效率水平,分析宏观环境因素对黑龙江省粮食生产效率的影响,将黑龙江省粮食生产作为一个决策单元置于全国各粮食生产地区中进行横向比较,通过生产效率三阶段 DEA 模型分析方法,测算黑龙江省粮食生产综合技术效率的相对有效性。通过引入超效率分析模型,进一步明确黑龙江省粮食生产综合技术效率水平在全国的排名。在此基础上,通过随机前沿函数的研究方法,分析经济环境、政治环境和自然环境等宏观环境因素对生产效率造成的影响。

数据包络分析方法(Data Envelopment Analysis, DEA),是涉及数学、运筹学、经济学和管理科学的一个新的交叉领域研究方法,随着数

据包络分析方法被广泛应用于农业、金融行业等领域生产效率研究,该方法的固有缺陷越来越明显,为了能够精准地评价各个行业的效率,进一步完善数据包络分析法成为了国内外学者关注的焦点。Fried 等<sup>[5]</sup>相关研究表明,决策单元(DMU)的效率受外部环境、随机误差和遗漏变量等因素的影响。此后,国外内外学者根据 Fried 等<sup>[5]</sup>的研究成果,逐渐开始利用三阶段 DEA 研究方法对生产效率进行研究。

传统的 DEA 模型是在假设条件为无差异的外部环境进行相对效率的评价,在这一假设的前提下,那些受外部环境影响较大的决策单元(DMU)到生产前沿面的真实距离被拉伸造成个别决策单元的效率结果扭曲,不能够完全反映决策单元的管理效率。三阶段 DEA 方法的优势在于能够将外部环境和随机误差对生产效率的影响剔除,使评价准确更加准确,并且更加接近实际水平<sup>[6]</sup>。本研究采用三阶段 DEA 分析模型,对黑龙江省与我国其他省、自治区、直辖市的粮食综合技术效率进行比较分析,以期为提高黑龙江省粮食生产效率,保障国家粮食安全提供理论依据。

## 1 研究方法

### 1.1 投入产出指标选取

根据农业生产特点,在投入指标方面,选取各省农用柴油使用量、农业从业人员数量、农用化肥施用折纯量和粮食播种总面积作为投入指标(表 1)。借鉴马文杰等<sup>[7]</sup>多位学者采用的权重系数法将粮食生产投入要素从广义的农业投入数据

收稿日期:2021-10-27

**基金项目:**黑龙江省农业科学院“农业科技创新跨越工程”专项(HNK2019CX19-04);黑龙江省现代农业产业技术协同创新推广体系;财政部和农业农村部:国家现代农业产业技术体系;农业农村部东北地区作物栽培科学观测站。

**第一作者:**姜宇博(1985—),男,博士,副研究员,从事农业生产效率研究。E-mail:vbojiang2007@163.com。

**通信作者:**钱春荣(1973—),女,博士,研究员,从事作物栽培研究。E-mail:qianjianyi318@163.com。

中剥离,具体权重系数为: $a = \text{粮食作物播种面积} / \text{农作物播种总面积}$ 。选取粮食总产量作为产出变量。根据黑龙江省现代农业发展历程,“十一五”和“十二五”是黑龙江省农业机械化水平高速发展的十年,为遵循指标选取的代表性原则,选取“十二五”结束之年即 2015 年作为静态考察年份,进而体现黑龙江省现代农业发展的阶段性成果。

表 1 投入产出变量及指标含义

指标类型	指标名称	指标含义
投入指标	农机相关的农用柴油使用量(万 t)	机械投入
	农业从业人员(万人)	人力投入
	农用化肥施用折纯量(万 t)	物质投入
	粮食播种总面积(千 hm <sup>2</sup> )	土地投入
产出指标	粮食总产量(万 t)	粮食产出

数据来源:《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》和各省市统计年鉴。

1.2 环境变量假设与指标的选取

在经济环境、政策环境和自然环境 3 个层面,分别选取农村居民收入水平、农村经济在国民经济的地位、农业机械普及率、城镇化水平、政府对农业财政支持水平和自然灾害等 6 项指标作为环境变量。根据数据的可得性,在具体指标方面,选取我国农村居民人均可支配收入(元)作为反映农村居民收入水平的评价指标;选取第一产业增加值占地区生产总值的百分比(%)来体现农村经济在国民经济中的地位;选取单位面积农业机械总动力(kW·hm<sup>2</sup>)反映政府对农业现代化的支持力度;选取乡村占总人口比重(%)反映城镇化水平;选取农林水支出占地方一般公共预算支出百分比(%)反映政府对农业的财政支持力度;选取受灾面积占总播种面积百分比(%)反映自然灾害情况。

1.3 模型选择

引用郭军华<sup>[8]</sup>、刘子飞<sup>[9]</sup>等多位学者使用的三阶段 DEA 模型分析黑龙江省粮食生产技术效率在全国(除香港、澳门、台湾外)的水平,为了进一步明确 DEA 有效决策单元的农业生产水平差异,利用超效率模型对 DEA 有效的决策单元进行排序。

2 结果与分析

2.1 投入变量修正后的粮食生产技术效率分析

利用三阶段 DEA 模型,得到第三阶段调整

后的 DEA 分析结果,各地区粮食生产技术效率如表 2 所示。

表 2 我国部分地区第三阶段粮食生产技术效率

地区	技术效率	纯技术效率	规模效率	规模报酬
北京	0.566	1.000	0.566	irs
天津	0.672	0.777	0.864	irs
河北	0.790	0.794	0.995	irs
山西	0.585	0.700	0.835	irs
内蒙古	1.000	1.000	1.000	-
辽宁	0.862	0.901	0.957	irs
吉林	1.000	1.000	1.000	-
黑龙江	1.000	1.000	1.000	-
上海	0.807	1.000	0.807	irs
江苏	0.938	0.951	0.986	drs
浙江	0.930	1.000	0.930	irs
安徽	0.873	0.877	0.995	irs
福建	0.750	0.776	0.967	irs
江西	0.925	0.994	0.931	irs
山东	0.891	0.995	0.896	drs
河南	1.000	1.000	1.000	-
湖北	0.906	0.974	0.930	irs
湖南	1.000	1.000	1.000	-
广东	0.746	0.755	0.987	irs
广西	0.691	0.795	0.87	irs
海南	0.639	1.000	0.639	irs
重庆	0.790	0.807	0.979	irs
四川	1.000	1.000	1.000	-
贵州	1.000	1.000	1.000	-
云南	0.663	0.715	0.928	irs
西藏	0.803	1.000	0.803	irs
陕西	0.818	0.874	0.936	drs
甘肃	0.653	0.822	0.795	irs
青海	0.611	1.000	0.611	irs
宁夏	1.000	1.000	1.000	-
新疆	1.000	1.000	1.000	-
平均值	0.836	0.920	0.910	

注:drs 表示规模报酬递减,irs 表示规模报酬递增,-表示规模报酬不变。

测算结果表明,在剔除环境因素和随机误差影响后,全国技术效率值为 1 的地区为 9 个,处于技术效率的前沿面,在粮食生产管理和生产规模方面在全国范围内具有较高的水平;上海、重庆和西藏的粮食生产规模效率下降明显,表明这些地

区在第一阶段较高的综合技术效率并不能体现其真实的规模效率水平,这也与其非粮食主产区的定位相符合;此外,江西省的纯技术效率和规模效率也均呈现出一定程度的下降,技术效率转变为非 DEA 有效。河南省的规模效率较第一阶段有一定的提升,也促进了其达到技术效率的前沿面,表明环境因素和随机干扰项对这个地区的综合技术效率造成了影响,在剥离干扰项后河南的技术效率是 DEA 有效的。

此外,规模报酬递增的地区为 19 个,规模报酬递减的地区为 3 个,这一方面说明没有处于技术效率前沿面的大部分地区粮食生产规模不足,另一方面也说明这些地区的规模报酬还具有进一步的提升空间,应在条件允许情况下进一步扩大粮食生产规模。第三阶段我国各地区平均技术效率值为 0.836,平均纯技术效率值为 0.920,平均规模效率值为 0.910,在剔除环境因素影响后,全国粮食生产的平均规模效率下降比较明显,多个地区技术效率产生了变化,环境因素对不同地区各项效率评价指标的影响存在较大的差异,黑龙江省粮食生产技术效率处于我国粮食生产技术效率的前沿面,没有造成投入的冗余或产出的不足。这表明黑龙江省粮食生产无论是否计入宏观环境因素影响,其粮食生产管理水平和生产规模都处于全国范围内的相对领先地位。

2.2 超效率值及排名

在第三阶段的 DEA 模型分析结果中,我国共有 9 个地区的技术效率达到了 1,实现了 DEA 有效,为进一步明确黑龙江省粮食生产技术效率在全国的具体排名,运用 DEA-SOLVER 软件对我国部分地区粮食生产技术效率的超效率值进行了进一步测算。由表 3 测算结果可知,研究的 31 个地区粮食生产超效率值的平均值为 0.900,宁夏排名第 1 位,超效率值为 1.493,黑龙江省超效率值为 1.436,排名第 2 位,其次分别是新疆、吉林、四川、内蒙古、河南、贵州和湖南。超效率分析结果表明,黑龙江省粮食生产超效率值超过了全国大部分地区,排名在较为靠前,这也进一步证明了黑龙江省粮食生产的优势地位;但另一方面,与排名第一的宁夏相比,黑龙江省还存在一定的差距,技术效率水平还有进一步的提升空间。

表 3 我国部分地区粮食生产超效率值及排名

排名	地区	超效率值	排名	地区	超效率值
1	宁夏	1.493	17	陕西	0.818
2	黑龙江	1.436	18	上海	0.807
3	新疆	1.256	19	西藏	0.803
4	吉林	1.232	20	重庆	0.790
5	四川	1.193	21	河北	0.790
6	内蒙古	1.186	22	福建	0.750
7	河南	1.072	23	广东	0.746
8	贵州	1.063	24	广西	0.691
9	湖南	1.052	25	天津	0.672
10	江苏	0.938	26	云南	0.663
11	浙江	0.930	27	甘肃	0.653
12	江西	0.925	28	海南	0.639
13	湖北	0.906	29	青海	0.611
14	山东	0.891	30	山西	0.585
15	安徽	0.873	31	北京	0.566
16	辽宁	0.862		平均	0.900

2.3 环境因素对粮食生产效率的影响

第二阶段 SFA 回归分析结果如表 4 所示,通过单边似然比检验(LR test of the one-side error),拒绝了不存在管理无效项的原假设。农用柴油使用量松弛变量、农业从业人员松弛变量、农用化肥施用折纯量松弛变量和总播种面积松弛变量的  $\gamma$  值均为 0.999 且通过 1%显著性检验,表明宏观环境因素对 4 种投入变量产生了显著影响。通过对 SFA 回归系数进行分析,可进一步明确各环境变量对各投入变量的松弛变量的影响。根据 SFA 模型的回归原理,当回归系数为正值,环境变量增加时,投入松弛变量也会增加,即环境变量会增加粮食生产的投入冗余,造成生产效率下降;相反,当回归系数为负值时,环境变量的增加会减少投入松弛变量,有利于促进生产效率的提升。依据 DEA 模型中的投影理论,在生产效率的前沿面上,减少相应的投入冗余依然可以保持产出不变,对于 4 种投入变量,人力投入、机械投入和物质投入均可通过技术效率的改善来减少投入冗余,避免生产资料的浪费;对于土地投入冗余,从粮食生产角度讲,减少土地投入面积依然能达到最优的粮食产出,可进一步表明土地单位面积的产出不足。

表 4 SFA 回归分析结果

解释变量	农用柴油使用 量松弛变量	<i>t</i> 检验	农业从业人员 松弛变量	<i>t</i> 检验	农用化肥施用折 纯量松弛变量	<i>t</i> 检验	总播种面积 松弛变量	<i>t</i> 检验
常数项	-60.341***	-60.133	-42.374***	-42.350	-26.368***	-23.368	-309.710***	-309.710
农村居民人均可支配收入	0.002**	1.948	0.001*	1.669	0.001***	3.289	0.013*	1.920
第一产业增加值占地区生 产总值的百分比	1.152*	1.447	0.742*	1.608	0.223	0.332	-14.105***	-14.117
单位面积农业机械总动力	0.469	0.403	0.060	0.203	0.277	0.395	-15.737***	15.738
乡村人口占总人口比重	0.652	1.324	0.560**	2.784	0.417	1.340	11.239***	11.306
农林水支出占地方一般公 共预算支出百分比	-2.101**	-2.077	-1.426*	-1.559	-1.682**	-2.022	-29.974***	-29.990
受灾面积占总播种面积百 分比	0.547	1.222	0.281	1.424	0.063	0.906	3.743***	3.743
$\sigma^2$	1466.794***	1466.769	905.587***	903.072	387.587***	387.423	183225.900***	183225.900
$\gamma$	0.999***	56296.940	0.999***	1645524.000	0.999***	49385.068	0.999***	951.530
log likelihood	-128.298		-120.725		-107.903		-205.618	
LR test of the one-side error	29.598		29.796		28.646		23.632	

注：\*\*\*、\*\*、\* 分别代表在 1%、5%、10%水平显著。

3 讨论

3.1 农村居民人均可支配收入对生产效率的影响

2015 年黑龙江省农村居民人均可支配收入为11 095.20元,在研究的 31 个地区中位列第 13 位,较全国平均水平低 326.50 元,属于全国中等水平。整体而言,农村居民人均可支配收入对 4 种投入松弛变量的影响均为正数。对化肥施用量通过了1%水平检验,对农用柴油施用量通过了 5%水平的检验,表明收入水平的提升促进了农村居民对农业生产要素的消费,进一步提升了化肥和农用柴油的投入冗余。对总播种面积通过了 10%水平检验,表明收入的提升会扩大整体的生产规模,但对于不适宜耕种的土地,扩大规模易导致生产要素投入效率的降低。对农业从业人员通过了 10%水平检验,表明从事农业生产收入的增加会吸引更多的劳动力参与到农业生产中,加大了人力资源投入的冗余。

3.2 农村经济在地区经济中的地位对生产效率的影响

在研究的 31 个地区中,2015 年黑龙江省农村经济在地区经济中的比例为17.5%,排名全国第 2 位,表明农村经济在黑龙江省占据重要地位,这也与黑龙江省农业大省的地位相符。4 种投入变量中,第一产业增加值占地区生产总值的百分

比对农用柴油使用量、农业从业人员和农用化肥施用量的松弛变量影响为正数,对总播种面积影响为负数。对农用柴油施用量影响通过了 10%水平的显著性检验,表明农村经济在国民经济中的地位越高,农业机械使用和投入会相应增加,进一步造成农用柴油投入的冗余;对农业从业人员通过了 10%水平检验,表明第一产业所占比重较高的地区,从事农业生产的劳动力会相应增多,加大了人力资源投入的冗余。对总播种面积影响系数为负值,且通过 1%水平检验,表明对农业生产重视程度较高的地区,农用土地的管理和利用效率越高,冗余值越少。

3.3 农业机械普及率对生产效率的影响

单位面积农业机械总动力是农业机械总动力与耕地面积的比值,能够体现地方政策对于农业的支持力度。分析结果表明,单位面积农业机械总动力对农用柴油使用量、农业从业人员、农用化肥施用折纯量等投入变量的影响为正且均不显著,表明农业机械的普及并不能对农业生产的物质投入和农业从业人员的知识储备及生产技术水平产生显著影响。相比而言,单位面积农业机械总动力对总播种面积的影响为负值且达到了 1%水平显著,表明农业机械储备量和普及率的提高有利于土地利用效率的提升,能够有效减少耕地投入冗余,促进单位面积产量的提升。

net/publication/314241315\_Genome-wide\_association\_study\_GWAS\_of\_salt\_tolerance\_in\_worldwide\_soybean\_germplasm\_lines. DOI:10.1007/S11032-017-0634-8.

[35] WU C J, MOZZONI L A, MOSELEY D, et al. Genome-wide association mapping of flooding tolerance in soybean [J/OL]. *Molecular Breeding*, 2019, 40 (1) [2021-09-10]. [https://www.researchgate.net/profile/Evangelina-Ella/publication/272623796\\_Genome-wide\\_association\\_mapping\\_of\\_tolerance\\_of\\_flooding\\_during\\_germination\\_in\\_rice/links/54eac8220cf27a6de114d144/Genome-wide-association-mapping-of-tolerance-of-flooding-during-germination-in-rice.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Evangelina-Ella/publication/272623796_Genome-wide_association_mapping_of_tolerance_of_flooding_during_germination_in_rice/links/54eac8220cf27a6de114d144/Genome-wide-association-mapping-of-tolerance-of-flooding-during-germination-in-rice.pdf). DOI: 10.13140/2.1.1663.3125.

[36] WEN Z X, TAN R J, ZHANG S C, et al. Integrating GWAS and gene expression data for functional characterization of resistance to white mould in soya bean[J]. *Plant Biotechnology Journal*, 2018, 16(11):1825-1835.

[37] GUPTA P K, KULWAL P L, JAISWAL V. Association mapping in plants in the post-GWAS genomics era[J]. *Advances in Genetics*, 2019, 104:75-154.

[38] CHAUDHARY J, Patil G B, Sonah H, et al. Expanding omics resources for improvement of soybean seed composition traits[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2015, 6:1021.

[39] 郝兴杰, 胡林, 张淑君. 全基因组关联分析方法的研究进展[J]. *畜牧兽医学报*, 2016 47(2):213-217.

# Application Progress of Genome-wide Association Analysis on Soybean Genetic Breeding

GUAN Bo-wen<sup>1</sup>, CHEN Qing-shan<sup>1</sup>, WU Xiao-xia<sup>1</sup>, YANG Xue<sup>2</sup>

(1. School of Agriculture, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; 2. Prataculture Research Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China)

**Abstract:** At present, there is a lack of high-yield and high-quality soybean varieties in China, so we need to strengthen research and development. Genome wide association analysis (GWAS) has the advantages of high throughput, high precision and less time-consuming. In order to promote the application of GWAS in the process of soybean genetics and breeding, based on the introduction of the theory of GWAS method, this paper summarized its application progress in the genetics and breeding of main agronomic characteristics of soybean, discussed the advantages and disadvantages of GWAS and its development trend, and put forward solutions.

**Keywords:** soybean; genome-wide association analysis; genetic breeding; character improvement; application progress

(上接第 89 页)

## Study on Grain Production Efficiency in Heilongjiang Province

JIANG Yu-bo<sup>1,2</sup>, LI Shuang<sup>2</sup>, YU Yang<sup>1</sup>, GONG Xiu-jie<sup>1</sup>, HAO Yu-bo<sup>1</sup>, LI Liang<sup>1</sup>, LYU Guo-yi<sup>1</sup>, QIAN Chun-rong<sup>1</sup>

(1. Institute of Crop Cultivation and Tillage, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150028, China; 2. College of Economics and Management, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

**Abstract:** In order to clarify the technical efficiency level and influencing factors of grain production in Heilongjiang Province, the data envelopment analysis method and the random frontier analysis method were used comprehensively. Through the Three-stage DEA analysis model, the input variables of human force, machinery, land and other inputs in agricultural production were modified by using the relevant variables of economic environment, natural environment and social environment. From the macro perspective, modified the comprehensive technical efficiency of grain between Heilongjiang Province and other regions were compared and analyzed. The results showed that the environmental factors had a significant impact on the agricultural production investment in various regions, and the calculation results in most regions had changed after excluding the environmental factors. Although the comprehensive technical efficiency of grain production in Heilongjiang Province was at the forefront of China's agricultural production, the results of super efficiency analysis showed that Heilongjiang Province still had some room to improve.

**Keywords:** grain crops; Heilongjiang Province; production efficiency; Three-stage DEA analysis model